

Н. С. Василевский, О. Н. Жорнова, Т. А. Ильина, В. В. Киселёв
Уральский федеральный университет, г. Екатеринбург
n_vasilevskiy@list.ru

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ НАКАТАНЫХ ТРУБ В УСТАНОВКАХ МГНОВЕННОГО ВСКИПАНИЯ

В работе рассмотрена возможность использования развитых поверхностей в виде накатанных труб в установках мгновенного вскипания. Рассмотрено влияние накатки на процессы теплообмена, присущие этой установке.

Ключевые слова: *теплообмен; конденсация; накатка.*

N. S. Vasilevskiy, O. N. Zhornova, T. A. Ilina, V. V. Kiselev
Ural Federal University, Ekaterinburg

USE OF PIPES WITH KNURL WHEEL IN INSTALLATIONS OF FLASH EVAPORATOR

The paper considers the possibility of using developed surfaces in the form pipes with knurl in installations of flash evaporator. The effect of knurling on the heat exchange processes inherent in this installation is considered.

Keywords: *heat exchanger; condensation; knurl wheel.*

Термическое обессоливание воды является достаточно эффективным методом отчистки воды, особенно когда речь идет в получении высокого уровня отчисти воды, например, при подпитке котлов высокого давления. Использование технологии термического можно наблюдать при работе установок мгновенного вскипания.

Ощутимым преимуществом этих установок является отсутствие дорогостоящих реагентов для отчистки высокого уровня. Полученный дистиллят можно использовать для работы котлов высокого давления. Основным недостатком таких установок можно

считать высокую материалоемкость и большие габаритные размеры.

Основной объём материалов уходит на конвективную поверхность УМВ, размеры которой значительно превышают испарительную часть. Основной проблемой является падение коэффициента теплоотдачи со стороны пара, при появлении пленки конденсата на поверхности труб.

Решением такой проблемы является использование развитых поверхностей в конденсаторе, одним из наиболее эффективных видов такой поверхности является использование накатки (рис. 1). Рассмотрим влияние накатки на процессы теплообмена.

При пленочной конденсации эффект интенсификации теплообмена на наружной поверхности труб обусловлен действием поверхностного натяжения на пленку конденсата. Чем толще и равномернее пленка конденсата, тем больше ее термическое сопротивление. Поэтому для обеспечения существенной интенсификации теплообмена снаружи труб необходима такая геометрия (рис. 2), которая обеспечивала бы эффективный срыв пленки конденсата или ее отекание в канавки с уменьшением ее толщины на остальных участках трубы, создавая приближение капельной конденсации.

Достигается это путем придания выступающей части трубы выпуклой формы и плавного сопряжения поверхностей канавок и выступающих частей трубы (см. рис. 2) [1].

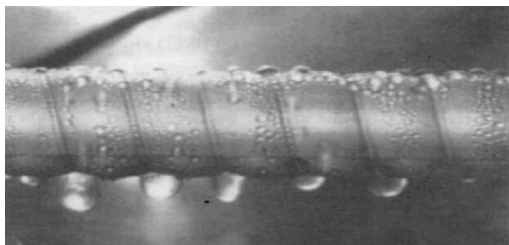


Рис. 1. Капельная конденсация на поверхности труб с накаткой

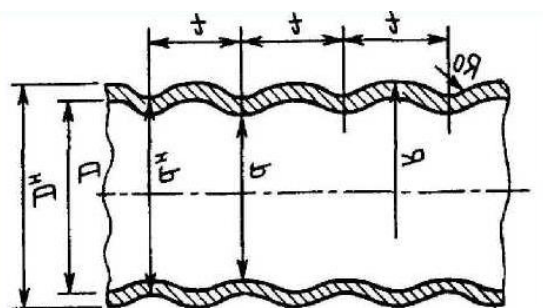


Рис. 2. Эскиз трубы, используемой при конденсации теплоносителей на наружной поверхности

Если трубы размещены горизонтально, то образующаяся на них пленка конденсата стекает по наружной поверхности трубы поперек ее оси сверху вниз и внизу трубы срывается. Наличие переменного сечения наружной поверхности трубы с плавными переходами (см. рис. 1) приводит к дополнительному стеканию конденсата в периодически размещенные канавки. Это приводит к уменьшению толщины пленки конденсата на выступающих частях трубы, что дает уменьшение термического сопротивления между паром и стенкой и увеличивает интенсивность теплообмена.

Стекание конденсата в канавки с выступающих частей труб ускоряет их заполнение, снижает устойчивость пленки конденсата и ведет к ее срыву или ускоренному стеканию. Таким образом, искусственное перераспределение образующегося конденсата по длине трубы приводит к резкому увеличению теплообмена на выступающих частях трубы, составляющих ее большую часть, и в итоге обуславливает существенное возрастание среднего коэффициента теплоотдачи снаружи трубы.

С целью обоснования выбора оптимальных параметров канавок и выступающих частей труб были проведены подробные экспериментальные исследования в широком диапазоне режимных и геометрических параметров.

Интенсификация теплоотдачи практически не зависит от температурного напора. Коэффициент теплоотдачи увеличивается в 1,8–2,65 раза, причем тем больше, чем больше глубина канавок, чем меньше их шаг и чем меньше радиус закругления выступающих частей труб R . Таким образом полученные опытные данные обобщаются зависимостью, подходящей для расчета коэффициента теплоотдачи в межтрубном пространстве при конденсации на горизонтальных трубах с накаткой [1]:

$$\frac{\alpha}{\alpha_{2л}} = 2,469 \left(1 - 0,2445 \frac{R}{D_H}\right) \left(1 - 0,379 \frac{t}{D_H}\right) \exp \left[3,65 \left(1 - \frac{d}{D_H}\right) \right] \quad (1)$$

где $\alpha_{2л}$ определяется по формулам конденсации пара [3]:

$$\bar{\alpha} = 0,7284 \sqrt{\frac{rg \rho_{\text{жс}}^2 \lambda_{\text{жс}}^3}{\mu_{\text{жс}} (t_s - t_c) d}} \quad (2)$$

где r – теплота парообразования, g – ускорение свободного падения, ρ – плотность конденсата, λ – коэффициент теплопроводности конденсата, μ – коэффициент кинематической вязкости конденсата.

С другой стороны, теплообмен со стороны трубного пространства так же нельзя считать по то формулам для гладких труб. Использование накатки, являющейся одним из самых простых способов интенсификации теплоотдачи при турбулентном движении жидкости – увеличение шероховатости поверхности, способствует разрушению или возмущению вязкого подслоя турбулентного пограничного слоя потока, что способствует повышению теплоотдачи. Структура шероховатости может являться как неотъемлемой частью теплообменной поверхности (равномерно нанесенные или дискретные, двух- или трехмерные выемки и выступы и т. д.) или являться элементами проволочных или прочих вставок.

Шероховатые поверхности используются для интенсификации теплоотдачи при однофазных течениях в трубах, стержней и трубных пучков.

Следует указать, что в настоящее время не удалось получить единой универсальной зависимости для расчета теплообмена и трения в шероховатых кольцевых каналах. Однако большое количество накопленных данных, с использованием различных методов увеличения шероховатости поверхностей позволяют получить общую зависимость коэффициента теплоотдачи внутри трубок, с использованием шероховатых поверхностей.

Так же, как и при гладких трубах, коэффициент теплоотдачи определяется через безразмерное число Нуссельта, определяющее по соотношению [2]:

$$Nu = Nu_0 \left\{ 1 + \left[2,64 Re^{0,036} Pr^{0,024} a \cdot b \cdot c \right]^7 \right\}^{1/7} \quad (3)$$

где

$$a = \left(\frac{h}{D} \right)^{0,212} \quad b = \left(\frac{t}{D} \right)^{-0,21} \quad c = \left(\frac{\alpha}{90} \right)^{0,29} \quad (4)$$

Nu_0 определяется по формулам для движения потока в гладкой трубе [3]:

$$Nu_0 = 0,023 Re^{0,8} Pr_{ж}^{0,43} \left(\frac{Pr_{ж}}{Pr_c} \right)^{0,25} \varepsilon_l \quad (5)$$

где $Pr_{ж}$; Pr_c – число Прандтля при температуре жидкости и стенки, соответственно; $Re = \frac{\omega \cdot d}{\nu}$ – безразмерное число Рейнольдса.

Использование накатанных труб в установках мгновенного вскипания позволяет снизить габаритные размеры установки, уменьшение длины конденсационной части до 2 раз, за счет увеличения коэффициентов теплоотдачи. Со стороны паровой фазы теплообмен увеличивается в 1,8 раза, а со стороны воды – до 2,2 раза.

Список использованных источников

1. Калинин Э. К., Дрейцер Г. А., Копп И. З., Мякочин А. С. Эффективные поверхности теплообмена. М. : Энергоатомиздат, 1998. 408 с.
2. Попов, И .А. Физические основы и промышленное применение интенсификации теплообмена: Интенсификация теплообмена: монография / И. А. Попов, Х. М. Махьянов, В. М. Гуреев; под общ. ред. Ю. Ф. Гортышова. Казань : Центр инновационных технологий, 2009. 560 с
3. Королев В. Н. Тепломасообмен : учеб. пособие. Екатеринбург : УрФУ, 2013. 249 с.